

19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

Offenlegungsschrift  
11 DE 3701916 A1

- 21 Aktenzeichen: P 37 01 916.3  
22 Anmeldetag: 23. 1. 87.  
43 Offenlegungstag: 13. 8. 87

51 Int. Cl. 4:  
H03K 17/00  
H 01 H 47/22  
// H03K 17/06, 17/04,  
17/56

DE 3701916 A1

30 Unionspriorität: 32 33 31  
27.01.86 US 822715

71 Anmelder:  
Westinghouse Electric Corp., Pittsburgh, Pa., US

74 Vertreter:  
Fleuchaus, L., Dipl.-Ing., 8000 München; Wehser, W.,  
Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 3000 Hannover

72 Erfinder:  
Billings, William Weaver, Parkway, Ohio, US

54 Verfahren und Einrichtung zur Steuerung elektrischer Leistung

Ein hybrides elektrisches Leistungssteuergerät enthält ein Relais mit einer Spule und einem Paar mechanischer Kontakte. Eine Halbleiterschaltvorrichtung ist elektrisch parallel zu den mechanischen Kontakten geschaltet und liegt zwischen einer Eingangsklemme und einer Ausgangsklemme. Eine Steuerschaltung für die Relaispule liefert Energie für die Spule und erzeugt ein Signal, das den Strom anzeigt, der in der Relaispule fließt, nachdem ihre Energieversorgung abgeschaltet wurde. Ein Logikschaltkreis für die Halbleiterschaltvorrichtung spricht auf dieses Signal an und steuert eine Treiberschaltung, um die Schaltvorrichtung abzuschalten, wenn das Signal unter einen vorbestimmten Wert fällt.

DE 3701916 A1

## Patentansprüche

1. Ein hybrides elektrisches Leistungssteuergerät mit einer Eingangsklemme (12) zum Anschluß an eine Energiequelle; einer Ausgangsklemme (14) für den Anschluß einer Last; einem Relais mit einer Spule (K) und einem Paar mechanischer Kontakte (36), wobei diese Kontakte elektrisch zwischen die Eingangsklemme und die Ausgangsklemme geschaltet sind; einer Halbleiterschaltvorrichtung (10), die elektrisch parallel zu den mechanischen Kontakten geschaltet ist; einer Relaissteuerschaltung (38), die Energie an die Relaispule anlegt und davon abtrennt; und einer Treiberschaltung (34) zur Steuerung des Leitfähigkeitszustandes der Halbleiterschaltvorrichtung; dadurch gekennzeichnet, daß eine Abfüllschaltung (R4) für den Strom in der Relaispule ein erstes Signal erzeugt, das den Stromfluß in der Relaispule nach dem Abtrennen der Energie von der Relaispule anzeigt, und daß die Treiberschaltung auf das erzeugte Signal anspricht, um die Halbleiterschaltvorrichtung auszuschalten, wenn das Signal unter einen vorbestimmten Wert abfällt.

2. Steuergerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Abfüllschaltung für den Strom in der Relaispule einen Widerstand (R4) umfaßt, der elektrisch in Reihe zur Relaispule geschaltet ist.

3. Steuergerät nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuerschaltung für das Relais eine zweite Halbleiterschaltvorrichtung (Q4) enthält, deren hauptsächlichster Leitungspfad elektrisch parallel zum Widerstand der Abfüllschaltung geschaltet ist.

4. Steuergerät nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß eine impulsbreitenmodulierte Gleichstromversorgung (24', Q1) Spannungsimpulse an die Relaispule anlegt.

5. Steuergerät nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß eine Diode (CR2) elektrisch parallel zur Reihenschaltung aus der Relaispule und dem Widerstand (R4) der Abfüllschaltung geschaltet ist.

6. Steuergerät nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Treiberschaltung eine Logikschaltung (50) enthält, in der ein EIN-Signal mit dem ersten Signal verknüpft wird, das den Stromfluß in der Relaispule anzeigt, so daß die Halbleiterschaltvorrichtung eingeschaltet bleibt, solange entweder das EIN-Signal einen ersten logischen Pegel aufweist, oder das erste Signal einen Schwellwert überschreitet.

7. Verfahren zur Steuerung elektrischer Leistung, in dem die Schritte enthalten sind: Zuführen elektrischer Energie an eine Eingangsklemme eines hybriden Leistungssteuergerätes; Einschalten einer Halbleiterschaltvorrichtung, die zwischen der Eingangsklemme und einer Ausgangsklemme geschaltet ist, um elektrische Leistung an eine Last abzugeben; Zuführen von elektrischem Strom an eine Spule eines Relais, um ein Paar mechanischer Kontakte zu schließen, die elektrisch parallel zur Halbleiterschaltvorrichtung geschaltet sind; und Abtrennen der elektrischen Stromquelle von der Spule; gekennzeichnet durch: die Erzeugung eines Signals, das den Stromfluß in der Spule nach dem Abtrennen der elektrischen Stromquelle von der Spule anzeigt; und Abschalten der Halbleiterschaltvor-

richtung, wenn dieses Signal unter einen vorbestimmten Wert abfällt.

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Einrichtung zur Steuerung elektrischer Leistung nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 und ein Verfahren zur Steuerung elektrischer Leistung nach dem Oberbegriff des Anspruchs 7.

Sie wird in hybriden elektrischen Schaltern verwendet, in denen sowohl mechanische Kontakte als auch Halbleiterschalt Elemente verwendet werden, die parallel zueinander geschaltet sind.

Schaltvorrichtungen die in elektrischen Systemen von Flugzeugen verwendet werden sollen, müssen so ausgelegt sein, daß ihre Abmessungen und ihr Gewicht minimal sind und gleichzeitig der Leistungsverlust und die beim Umschalten auftretenden abklingenden Ströme geringstmögliche Werte annehmen.

Elektromechanische Relais haben den Vorteil, bei einem minimalen Leistungsverlust im eingeschwungenen Zustand hohe Ströme schalten zu können, wenn das Relais eingeschaltet und die Kontakte geschlossen sind. Halbleiterschaltungen, die gewöhnlich als Halbleiter-Leistungssteuervorrichtungen, als Halbleiter-Schaltkreisunterbrecher oder als Halbleiterschalter bezeichnet werden, haben die Vorteile schnellerer Umschaltzeiten und herabgesetzter Schaltstöße. Halbleiterschaltungen haben jedoch den Nachteil, daß bei ihnen typischerweise ein Spannungsabfall auftritt, der zu einem Leistungsverlust von ungefähr 1 Watt/Ampere und /Pol führt. Beispielsweise beträgt bei einem zweipoligen 12,5 Ampere Halbleiter-Leistungssteuergerät der Nenn-Leistungsverlust 34 Watt (davon 26,5 Watt Schaltverlust und 7,5 Watt Steuerleistung); für einen vergleichbaren mechanischen Schaltkreisunterbrecher beträgt der Leistungsverlust 5,5 Watt. Die entstehende Wärmeentwicklung ist ein wesentlicher Nachteil der den Einsatz von Halbleiter-Leistungssteuergeräten bei vielen Anwendungen ausschließt, insbesondere in bestehenden Einrichtungen.

Es ist daher wünschenswert, ein hybrides Leistungssteuergerät zu entwickeln, das sowohl Halbleiter- als auch mechanische Schaltelemente verwendet und deren beiderseitigen Vorteile ausnutzt.

Hybride Leistungssteuergeräte können sich durch einen geringen Schaltspannungsabfall auszeichnen, der geringer ist, als der von äquivalent ausgelegten Schaltkreisunterbrechern mit einer in Reihe geschalteten Überlastauslösespule; außerdem ermöglichen diese Steuergeräte das Einschalten und Ausschalten bei Nulldurchgängen nach vollen Zyklen, um einlaufende Schaltstöße auf ein Minimum herabzusetzen, sowie schnelle Überlaststrom-Auslösezeiten von einem Zyklus oder weniger, um die Fehlerenergie bei schweren Überlasten gering zu halten.

Um ein Abschalten beim Nulldurchgang sicherzustellen, ist jedoch ein einfaches Verfahren erforderlich, mit dem die Position der Relaiskontakte abgefühlt werden kann.

Die vorliegende Erfindung stellt sich daher die Aufgabe, ein hybrides Leistungssteuergerät anzugeben, das diesen Anforderungen genügt. Außerdem soll ein Verfahren zur Steuerung elektrischer Leistung angegeben werden.

Diese Aufgabe wird durch die in den Ansprüchen 1 und 7 gekennzeichnete Erfindung gelöst; Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen gekenn-

zeichnet. Die Erfindung verwendet eine Parallelkombination von mechanischen Relaiskontakten und Halbleiter-Schaltvorrichtungen und enthält eine einfache Vorrichtung zur Abfühlung der Kontaktstellung, so daß das Abschalten des Halbleiterschalters verzögert werden kann, bis die Relaiskontakte geöffnet sind.

In dem Leistungssteuergerät kann eine wirksame impulsbreitenmodulierte Energiezuführung für die Relaispule verwendet werden, um den Aufbau der Stromversorgung zu vereinfachen. Die Lage der Kontakte wird festgestellt, indem der Stromfluß in der Relaispule nach dem Abschalten der Spule überwacht wird.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird nun anhand von Zeichnungen näher erläutert, in denen:

Fig. 1: ein Blockdiagramm eines im Stand der Technik bekannten Halbleiterleistungssteuergeräts darstellt, das von der Erfindung verbessert wird;

Fig. 2: ein Blockdiagramm eines hybriden Leistungssteuergerätes zeigt, das, gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung aufgebaut ist;

Fig. 3: ein schematisches, teilweise als Blockdiagramm ausgeführtes Schaltbild eines hybriden Leistungssteuergerätes zeigt, das gemäß Fig. 2 aufgebaut ist; und

Fig. 4: eine Reihe von Schwingungsformen zeigt, mit denen die Betriebsweise der Schaltung von Fig. 3 erläutert wird.

Die Beschreibung der bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung erfolgt am besten unter Bezugnahme auf das im Stand der Technik bekannte Halbleiter-Leistungssteuergerät, das in Fig. 1 dargestellt ist.

Fig. 1 zeigt in einem funktionellen Blockdiagramm einen Halbleiterschalter 10, bei dem es sich beispielsweise um einen Silizium-Thyristor oder ein Transistor-Diodennetzwerk handelt und der zwischen einer Eingangsklemme 12 zum Anschluß an eine Stromquelle und eine Ausgangsklemme 14 geschaltet ist, an die eine Last angeschlossen werden kann.

Eine Stromversorgungseinheit 16 empfängt Leistung aus einer Eingangsklemme 12, wenn ein Steuerschalter 18 geschlossen ist, und liefert dann zwei Gleichspannungspegel. Eine Spannung  $+DC$  dient zur Versorgung der Treiberschaltungen für den Halbleiterschalter, und eine Spannung  $+DC$  Reg. versorgt die elektronischen Logikschaltungen mit niedrigem Pegel.

Der Steuerschalter 18 dient als EIN/AUS-Steuerung für die Steuervorrichtung des Halbleiterschalters indem er in dem jeweiligen EIN/AUS-Zustand die Stromversorgung mit Energie beaufschlägt oder abschaltet.

Eine Überlastschuttschaltung 20 fühlt den Strom mithilfe eines Stromtransformators 22 ab, und liefert ein Auslösesignal an die Steuerlogikschaltung 24, wenn eine Überlastbedingung vorliegt und während einer Zeit aufrechterhalten bleibt, die größer ist als die Strom-Zeit-auslöseschwelle der Schaltung. Eine Nulldurchgang-Detektorschaltung 26 liefert Synchronisierungspulse an die Logikschaltung 24, mit denen die Einschalt- und Ausschaltsignale für das Halbleiter-Leistungssteuergerät zu Zeitpunkten angelegt werden, wenn die Spannung der Stromversorgung die Nulllinie durchläuft. Für eine Steuerung mit vollen Zyklen wird nur ein Nulldurchgangspunkt verwendet, z. B. bei  $0^\circ$  oder  $180^\circ$ .

Anstelle des Steuerschalters 18 als Vorrichtung zur Steuerung der EIN/AUS-Zustände des Halbleiter-Leistungssteuergeräts kann auch ein getrenntes Steuersignal verwendet werden, das über die Steuereingangsklemme 28 zugeführt wird. Diese Eingangsklemme ist mit einer Steuer- und Starterschaltung 30 verbunden,

die über eine Statusklemme 32 ein Ausgangssignal abgibt, mit dem der Betriebszustand des Halbleiter-Leistungssteuergerätes angezeigt wird. Dieses Statusausgangssignal kann Bedingungen, wie beispielsweise EIN oder AUS ausgelöst, Komponentenfehler oder Kombinationen dieser Bedingungen anzeigen. Die Logikschaltung 24 empfängt Eingänge von der Steuer- und Statusschaltung, der Nulldurchgangsschaltung und der Überlastschuttschaltung und liefert Ausgangssignale an eine Treiberschaltung 34 sowie die Steuer- und Statusschaltung 30. Die Treiberschaltung 34 verstärkt das Steuersignal der Logikschaltung und veranlaßt das Einschalten des Halbleiterschalters. Diese Treiberschaltung kann auch eine Trennung zwischen der Logikschaltung und dem Halbleiterschalter mithilfe verschiedener bekannter Trennschaltungen liefern.

Fig. 2 stellt ein funktionales Blockdiagramm eines hybriden Leistungssteuergerätes mit geringem Verlust dar, das gemäß der vorliegenden Erfindung aufgebaut ist. Man erkennt, daß dieses Leistungssteuergerät enthält: die Merkmale des im Stand der Technik bekannten Halbleiter-Leistungssteuergerätes von Fig. 1; ein Relais mit einem Paar mechanischer Kontakte 36, die elektrisch parallel zum Halbleiterschalter 10 geschaltet sind; eine Relaissteuerung 38; und eine modifizierte Logikschaltung 24', in der Vorrichtungen enthalten sind, die eine Schnittstelle zur Steuerschaltung für das Relais bilden.

Die mechanischen Relaiskontakte 36 stellen einen Pfad mit geringem Spannungsabfall für den Laststrom dar, wenn das hybride Leistungssteuergerät eingeschaltet ist, außer während der Übergangsbedingungen, die während des Einschaltens und des Ausschaltens des Leistungssteuergerätes auftreten. Die Relaissteuerschaltung 38 enthält eine Relaispule und arbeitet entsprechend einem K-ON Signal von der Logikschaltung 24'. Die Relaissteuerschaltung liefert auch ein Anzeigesignal K-POS für die Position des Relais an die Logikschaltung 24', um den Betrieb des Halbleiterschalters mit dem Betrieb des Relais zu koordinieren.

Fig. 3 stellt ein schematisches Schaltbild eines hybriden Leistungssteuergerätes dar, das entsprechend Fig. 2 aufgebaut ist, wobei die im Stand der Technik bekannten Schaltungselemente durch funktionale Blöcke dargestellt sind. Die folgende Beschreibung konzentriert sich daher auf die Logik- und Relaissteuerschaltungen dieser Erfindung mit denen die Steuerung und die Synchronisierung des Betriebes des Halbleiterschalters und der Relaiskontakte beim Einschalten, Ausschalten und beim Überlastauslösen bewirkt wird.

Bei der Auswahl der Energieversorgung für die Relaispule  $K$  werden Relaispulen vom Gleichstromtyp bevorzugt, um schnelle Öffnungszeiten zu ermöglichen und um eine Vielzahl von Spulen-Nennspannungen zur optimalen Auswahl verwenden zu können, die auf der Basis der erforderlichen Schaltungen für das Halbleiter-Leistungssteuergerät der Spannungen, der Kosten usw. erfolgt.

Wenn das Leistungssteuergerät mit einer Stromversorgung von 115 Volt effektiv verwendet wird, läßt sich leicht eine gefilterte 150 Volt Gleichspannungsversorgung erhalten, indem eine Vollweggleichrichtung der Spannungsversorgung und eine Spitzenfilterung durchgeführt wird.

Es wäre unpraktisch, diese Gleichspannung von 150 Volt durch eine Reihenschaltung an die Endspannung der Relaispule anzupassen, da eines der Ziele der vorliegenden Erfindung darin besteht, die Leistungsverlu-

ste herabzusetzen.

Wird jedoch eine Impulsbreitenmodulation für die 150 Volt Gleichspannung verwendet und das Tastverhältnis variiert, so können verschiedene mittlere Gleichspannungen an das Relais angelegt werden. Da die Relaispule weiterhin eine Induktivität enthält, kann die Spule selbst eine Filterfunktion erfüllen, um einen kontinuierlichen Relaispulenstrom aufrechtzuerhalten, wenn die  $L/R$  Zeitkonstante des Relais in geeigneter Weise mit der ausgewählten Impulsfrequenz und der Impulsbreite eingesetzt wird.

Das in der Schaltung von Fig. 3 erfolgt, in der die Relaispule  $K$  durch einen Impulsbreiten-Modulationsschalter in Darlington-Konfiguration beaufschlagt wird, der 150 Volt Gleichstromimpulse an die Relaispule liefert, wenn das hybride Leistungssteuergerät im EIN-Zustand ist.

Die Frequenz der Impulse wird durch einen Taktoszillator 40 bestimmt, der ein Logiksignal mit einer Frequenz  $F_c$  an eine Frequenzteilerschaltung 42 liefert, die diese Frequenz durch eine vorgewählte Zahl  $N$  dividiert. Das resultierende Signal weist eine Dauer von  $N/F_c$  und eine Frequenz von  $F_c/N$  auf.

Typische Werte von  $F_c$  liegen beispielsweise zwischen 1 und 10 Kilohertz und typische Werte für  $N$  beispielsweise zwischen 4 und 8, und zwar für Relaispulen, deren Gleichstrom-Nennspannungen 26 Volt und 48 Volt betragen.

Das vom Frequenzteiler 42 erzeugte logische Signal wird im UND-Glied 44 mit einem Einschaltsignal K-ON für das Relais kombiniert, um ein Relaisreibersignal  $KDR$  zu erzeugen, wenn das hybride Leistungssteuergerät im EIN-Zustand ist und das Relais mit Energie beaufschlagt wurde.

Transistor Q3 empfängt das Relaisreibersignal  $KDR$  und liefert seinerseits ein Basistreibersignal für den Q1-Q2 impulsbreiten Modulationsschalter, um die Relaispule  $K$  mit 150 Volt Gleichspannungs-Spitzenimpulsen zu beaufschlagen. Das Signal K-ON versorgt weiterhin Transistor Q4 mit einem Gatesignal, so daß Q4 leitet und durch Clampingwiderstand  $R4$  leitend gehalten wird, solange das hybride Leistungssteuergerät im EIN-Zustand ist.

Wird jedoch das hybride Leistungssteuergerät entweder ausgeschaltet oder ausgelöst, so verschwinden die Gatesignale der Transistoren Q3 und Q4 gleichzeitig, so daß die Relaispule  $K$  nicht mehr mit Energie beaufschlagt wird.

Üblicherweise wird parallel zu einer Relaispule eine Nebenschlußdiode geschaltet, so daß der Strom beim Zusammenbruch des Magnetfeldes in der Spule nach dem Abschalten der Energie durch die Nebenschlußdiode fließt. Dieser anhaltende Stromfluß verzögert die Öffnung der Relaiskontakte. Beim Ausschalten von Transistor Q4 in Fig. 3 wird Widerstand  $R4$  in den Schaltkreis der Relaispule eingeschaltet und Diode CR2 dient als Nebenschlußdiode.

Der Spulenstrom  $IK$  des Relais klingt daher schnell ab, und zwar mit einer Geschwindigkeit, die durch die Induktivität der Spule und den Widerstand des Schaltkreises bestimmt ist; die Zeitkonstante ist proportional zu  $LK/(RK + R4)$ , wobei  $LK$  die Induktivität der Relaispule ist und  $RK$  der Widerstand der Spule. Ohne die Q4-R4-Schaltung für das schnelle Abfallen des Relais betragen typische Abfallzeiten des Relais, die an einem Prototyp gemessen wurden, ungefähr 5 Millisekunden. Mit einem 5,1 Kiloohm-Widerstand für  $R4$  wurde diese Zeit auf ungefähr 1,0 bis 1,5 Millisekunden herabgesetzt;

das ist wichtig, da das hybride Leistungssteuergerät dadurch in die Lage versetzt wird, innerhalb der Zeitdauer eines Zyklus bei einer 400 Hertz Stromversorgung abzufallen, wenn eine schwere Überlastbedingung auftritt.

Wenn die Relaispule  $K$  von der Stromquelle getrennt wird, verursacht das zusammenbrechende magnetische Feld innerhalb der Spule eine Aufrechterhaltung des Stromes und führt zu einer induzierten Spannung, die beim Öffnen des Relais am Widerstand  $R4$  auftritt. Diese induzierte Spannung steigt anfänglich sehr schnell bis zu einem hohen Spitzenwert an und klingt dann gegen 0 ab. Die Abklingzeit des Stromes wird modifiziert, wenn der Relaisanker seine Bewegung zur Öffnung der Kontakte beginnt, wodurch eine zweite Spitze oder ein Anstieg des Stromes durch  $R4$  erfolgt und damit auch des Spannungsabfalles an  $R4$ ; es kann daher ein Verfahren eingesetzt werden, bei dem ein Schwellenspannungswert festgestellt wird, um abzufühlen, wenn die Spannung an  $R4$  unter den Punkt abgefallen ist, an dem die Öffnung der Relaiskontakte erfolgte, und damit die Öffnung des Halbleiterschalters 10 einzuleiten und das Ausschalten des hybriden Leistungssteuergerätes abzuschließen. Die Spannung am Widerstand  $R4$  wird also verwendet, um ein Anzeigesignal K-POS für die Position der Relaiskontakte zu erhalten, ohne daß es nötig wäre, weniger verlässliche Anzeigevorrichtungen für die Kontaktposition einzusetzen.

Das Schaltnetz mit der Diode CR3, den Widerständen  $R5$  und  $R6$  und dem Kondensator  $C1$  liefert die notwendige Herabsetzung der Spannung, die Isolation und das Filtern des  $R +$  Spannungssignales, um dieses in den Logikkomponenten mit niederem Pegel der logischen Steuerschaltung 24' verwenden zu können.

Im folgenden wird auf die Schwingungsformen der Fig. 4 zusammen mit dem Schaltkreis von Fig. 3 bezogen, um die Wirkungsweise des hybriden Leistungssteuergerätes zu beschreiben.

Fig. 4 enthält drei Spalten von Schwingungsformen, die auf die Zeitintervalle  $T1$ ,  $T2$  und  $T3$  bezogen sind. Zeitintervall  $T1$  enthält Schwingungsformen, die das Einschalten des hybriden Leistungssteuergerätes darstellen. Schwingungsform  $P_{in}$  stellt die Eingangsleistung dar, die an Klemme 12 angelegt wird. Zur Zeit  $t1$ , wird Steuerschalter 18 geschlossen und aktiviert dadurch die Stromversorgungseinheit 16. Als Folge davon baut sich die Ausgangsspannung  $+DC$  der Spannungsversorgung auf und es erscheinen Synchronisationsimpulse ZCO von der Nulldurchgangsschaltung 26. Die positiv ansteigenden Flanken der ZCO-Impulse erfolgen genau bei den Nulldurchgängen mit negativer Steigung der Eingangsleistungsschwingform. Nach einer kurzen Zeitverzögerung durch Schaltung 46 erscheint am Ausgang einer Signalformschaltung 47 ein Steuerschalter-Zeitverzögerungssignal CSWTD und stellt sicher, daß der Aufbau der Spannungsversorgung nur erfolgt, nachdem jedes Prellsignal im Steuerschalter 18 verschwunden ist.

Die Signalformschaltung 47 stellt sicher, daß das Verzögerungssignal CSWTD schnelle Spannungsübergänge enthält. Das EIN-Signal erfolgt anschließend beim nächsten in positiver Richtung verlaufenden ZCO-Spannungsimpuls zur Zeit  $t2$  durch das Takten des Flip-Flops 48 vom Typ D. Dann erscheint das Signal K-ON am Ausgang des UND-Glieds 49. Zum Zeitpunkt  $t2$  wird daher die Treiberschaltung mit Energie beaufschlagt und bewirkt, daß der Halbleiterschalter 10 leitet und so die Eingangsspannung  $P_{in}$  an die Ausgangsklemme 14 anlegt; die Relaispule  $K$  wird die impulsbreitenmodulierte Spannung  $VK$  beaufschlagt, indem die Si-

gnale  $Fc/N$  und K-ON durch das AND-Glied 44 geführt werden und dabei das Treibersignal KDR vor das Relais bilden. Es ist hier festzuhalten, daß die Zeitskala für die Signale VK, KDR und IK in Fig. 4 tatsächlich sehr viel kleiner ist, als in der Darstellung. Zur besseren Darstellung der Einzelheiten der Schwingungsform wurde jedoch eine langsamere Zeitskala ausgewählt.

Fig. 4 zeigt, daß der Strom  $IK$  der Relaispule ein kontinuierlich fließender Strom ist, obwohl die Spule durch eine impulsbreitenmodulierte Spannung beaufschlagt wird, da die Induktivität der Relaispule eine Filterwirkung ausübt. Zur Zeit  $t_3$  schließen sich die Relaiskontakte 36 und schließen dadurch den Halbleiterschalter 10 kurz, so daß der Laststrom nun vollständig durch die Relaiskontakte fließt und sich ein sehr kleiner Spannungsabfall und ein kleiner Leistungsverlust einstellen. Obwohl der Halbleiterschalter zu diesem Zeitpunkt keinen Strom führt, wird er doch im EIN-Zustand belassen, so daß auch bei einem Springen des Relaiskontaktes, beispielsweise durch Schwingungen oder Stöße, die Lastspannung nicht unterbrochen wird.

Das Zeitintervall  $T_2$  in Fig. 4 stellt das Abschalten des hybriden Leistungssteuergerätes dar. Zur Zeit  $t_4$  öffnet der Steuerschalter 18 um das Abschalten einzuleiten und schaltet dabei die Spannungsversorgung 16 von ihrer Energiequelle ab, so daß ihre Ausgangsspannung und  $+DC$  abfällt. Durch die Zeitverzögerungsschaltung 46 verschwindet das Schaltzeitverzögerungssignal CSWTD, das ebenfalls vor der Zeit  $t_4$  eingeleitet wurde, zur Zeit  $t_5$  und bewirkt damit, daß die Signale KDR und VK sofort verschwinden. Das Abklingen des Signals K-ON zur Zeit  $t_5$  schaltet Transistor  $Q_4$  ab und beseitigt dadurch den Kurzschluß über Widerstand  $R_4$ , so daß dieser nun in Reihe zur Relaispule  $K$  geschaltet ist. Da  $R_4$  einen relativ hohen Widerstandswert, verglichen mit dem Widerstand der Relaispule aufweist, erfolgt eine sehr schnelle Dissipation der Energie der Relaispule und infolgedessen ein schnelles Abklingen des Stromes in der Relaispule mit einem raschen Öffnen der Relaiskontakte. Wie oben beschrieben, erzeugt der am Widerstand  $R_4$  erzeugte Spannungsimpuls ein Signal IKL, das die Position der Relaiskontakte bei ihrem Öffnen anzeigt. Dieses Signal zeigt anfangs eine steile Spitze, fällt dann ab und bildet dann einen Höcker, wenn sich das Relais zur Zeit  $t_6$  öffnet, schließlich fällt es auf den Wert 0 ab. Solange das Signal IKL einen Schwellwert  $V_{th}$  übersteigt, hält ein ODER-Glied 50 ein Eingangssignal am D-Eingang eines Flip-Flops 48 aufrecht, so daß das EIN-Ausgangssignal des Flip-Flops 48 den Ausgang des ODER-Glieds 52 auf hohem Potential hält; dadurch wird dem Halbleiterschalter 10 weiter Energie zugeführt. Wenn das Signal IKL zur Zeit  $t_7$  unter den Pegel  $V_{th}$  abfällt, verschwindet das D-Eingangssignal am Flip-Flop 48. Beim nächsten in positiver Richtung gehenden ZCO-Impuls zur Zeit  $t_8$  schaltet daher das Flip-Flop 48 um, so daß der Halbleiterschalter deaktiviert und die Last von der Spannungsquelle getrennt wird. Auf diese Weise wurde ein synchrones Nulldurchgangs-Abschalten erzielt.

Die Schwingungsformen des Zeitintervalls  $T_3$  in Fig. 4 veranschaulichen einen Auslösevorgang des hybriden Leistungssteuergerätes. Die Schwingungsformen sind ähnlich denen für die Abschaltfunktion im Zeitintervall  $T_2$ , mit der Ausnahme, daß ein Ausgangssignal TLO der Auslöseverriegelungsschaltung 54 das Öffnen des hybriden Leistungssteuergerätes veranlaßt und daß keine volle Zyklussteuerung zur Verfügung gestellt wird. Wenn das Auslöseverriegelungssignal TLO als

Folge eines Überstromauslösesignals von der Überlastschutzschaltung 20 zur Zeit  $t_9$  erscheint, fallen die Signale ON, K-ON, KDR und VK augenblicklich auf Null ab, und die Öffnung des Relais wird abgeleitet. Wieder bildet das Stromsignal IKL des Relais zur Zeit  $t_{10}$  ein Plateau, wenn sich der Relaisanker bewegt und fällt anschließend zur Zeit  $t_{11}$  unter den Spannungspegel  $V_{th}$ , womit angezeigt wird, daß sich das Relais geöffnet hat. Das Treibersignal für den Leistungsschalter, das am Ausgang des ODER-Glieds 52 erscheint, verschwindet dann augenblicklich. Wenn als Halbleiterschalter 10 Siliciumthyristoren verwendet wurden, erfolgt das Ausschalten beim nächsten Nulldurchgang durch natürliche Kommutation der Siliciumthyristoren, wie es zur Zeit  $t_{12}$  dargestellt ist. Werden Transistoren als Halbleiterschalter eingesetzt, so erfolgt die Unterbrechung des Laststromes zur Zeit  $t_{11}$ , wenn das Treibersignal am Ausgang des ODER-Glieds 52 verschwindet. Es erfolgt daher eine schnelle Unterbrechung des Laststromes durch das hybride Leistungssteuergerät ohne volle Zyklussteuerung, wenn ein Überstromfehlersignal erscheint, so daß schnellere Auslösezeiten erreicht werden, um die Dauer von schweren Überlastströmen zu begrenzen.

Gemäß der Lehre der vorliegenden Erfindung wurden Leistungssteuergeräte sowohl mit einem einzigen Pol für 1 Ampere, 115 Volt effektiv, 400 Hertz, als auch mit zwei Polen für 7 Ampere, 115 Volt effektiv, 400 Hertz gebaut. Die Version für 1 Ampere zeigt eine Unterbrechungszeit von einem halben Zyklus, wenn ein Schließen in einen Fehler erfolgte und eine Unterbrechungszeit von  $3/4$  Zyklus, wenn ein Fehler an das Steuergerät angelegt wurde, während es sich im EIN-Zustand befand. Außerdem wurden geringere Schalterspannungsabfälle erzielt, als mit elektromechanischen Schaltkreisunterbrechern äquivalenter Nennleistung erreicht werden können (die letzteren haben eine in Reihe geschaltete Stromspule für Schaltkreisunterbrecher mit Nennströmen von 1–10,5 Ampere). Außerdem wurde gezeigt, daß die Dissipation im Leistungssteuergerät um Werte herabgesetzt werden können, die bei 50% für einen Nennstrom von 1 Ampere und bis zu 70% für einen Nennstrom von 12,5 Ampere betragen. Zur vollständigen Beschreibung des Schaltkreises in Fig. 3 wurden in Tabelle 1 die Werte der Komponenten zusammengestellt, die zum Aufbau eines hybriden Leistungssteuergerätes gemäß der vorliegenden Erfindung verwendet wurden.

Tabelle 1

Komponente	Type
Q1	2N6212
Q2	MPSA93
Q3	ZVNO545B
Q4	ZVNO545B
CR1	5.1V
CR2	1N649
CR3	1N4146
CR4	1N4146
C1	0.01 $\mu$ F
C2	0.068 $\mu$ F
C3	4.0 $\mu$ F
C4	0.068 $\mu$ F
C5	220 pF
R1	22 K $\Omega$
R2	5.1 $\Omega$
R3	51 K $\Omega$
R4	5.1 K $\Omega$
R5	100 K $\Omega$
R6	13 K $\Omega$
R7	51 K $\Omega$
R8	6.2 K $\Omega$
R9	100 K $\Omega$
R10	100 K $\Omega$
R11	249 K $\Omega$
R12	64.9 K $\Omega$
R13	100 K $\Omega$
K	Babcock BR 19—S662

Aus der bisherigen Beschreibung ergibt sich, daß die hybriden Leistungssteuergeräte der vorliegenden Erfindung nach einem Verfahren zur Steuerung von elektrischer Leistung arbeiten, in dem folgende Schritte enthalten sind:

- Liefern von elektrischer Leistung an eine Eingangsklemme eines hybriden Leistungssteuergerätes;
- Einschalten einer Halbleiterschaltung, die zwischen der Eingangsklemme und einer Ausgangsklemme geschaltet ist, um Leistung an eine Last abzugeben;
- Liefern von elektrischem Strom an eine Spule eines Relais, um ein Paar mechanischer Kontakte zu schließen, die elektrisch parallel zur Halbleiterschaltvorrichtung geschaltet sind;
- Trennen der elektrischen Stromversorgung von der Spule;
- nach dem Unterbrechen des elektrischen Stromflusses in die Spule Erzeugen eines Signales, das den Stromfluß in der Spule wiedergibt;
- Abschalten der Halbleiterschaltvorrichtung, wenn dieses Signal unter einen vorbestimmten Wert abfällt.

In der bevorzugten Ausführungsform wird dieses Signal erzeugt, indem beim Abschalten der Energieversorgung für die Relaispule ein Widerstand in Reihe zur Relaispule geschaltet wird. Das Signal entsteht dann durch die abfallende Spannungsschwingform, die am Widerstand abgenommen wird und durch den Strom entsteht, der in einer aus der Spule dem Widerstand und einer Diode bestehenden Schleife umläuft. Diese Spannungsschwingungsform wird dann verwendet, um festzustellen, wenn sich die Relaiskontakte geöffnet haben, so daß das Ausschalten der Halbleiterschaltvorrichtung eingeleitet werden kann. In der bevorzugten Ausführungsform wird die Induktivität der Relaispule zum Filtern jener impulsbreitenmodulierten Spannung verwendet, um den Wirkungsgrad, die Flexibilität und die Wirtschaftlichkeit des Schaltkreises zu erhöhen. Der entstehende Schaltkreis zeigt daher schnelle Öffnungszeiten bis zu weniger als einem Zyklus, um den Energiefluß bei schweren Fehlerbedingungen zu begrenzen; synchronisiertes (lastloses) Nulldurchgangs-Einschalten und -Abschalten mit koordinierter Betätigung der Halbleiterschaltvorrichtung und der Relaiskontakte; und einen geringen Spannungsabfall am Schalter mit entsprechender geringer Dissipation beim Normalbetrieb. Neben der beschriebenen Ausführungsform umfaßt die Erfindung noch weitere Modifikationen; beispielsweise kann die Erfindung auch bei Leistungssteuergeräten mit Mehrfachpolen eingesetzt werden, die in Wechselstromschaltungen verschiedener Frequenzen verwendet werden, oder aber für Gleichstromanwendungen.

- Leerseite -

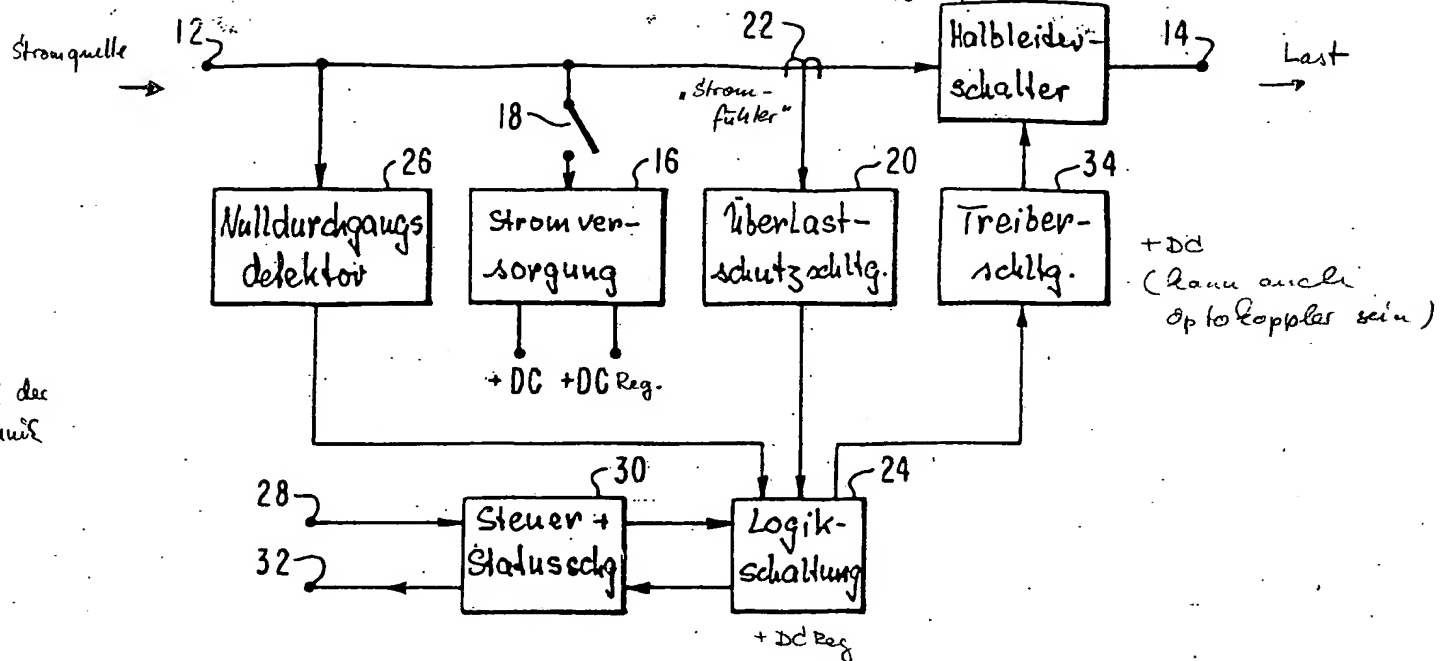


FIG. 1

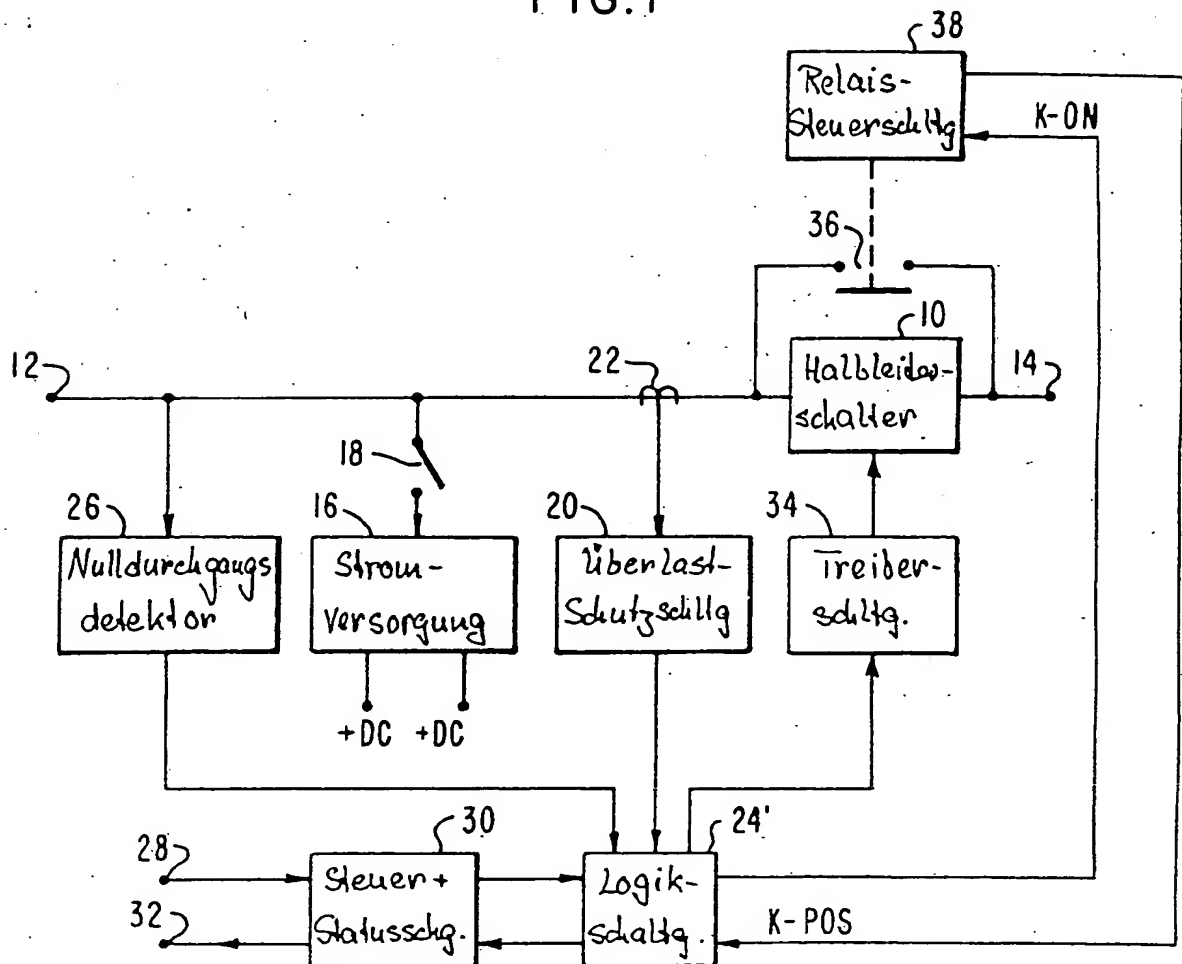


FIG. 2



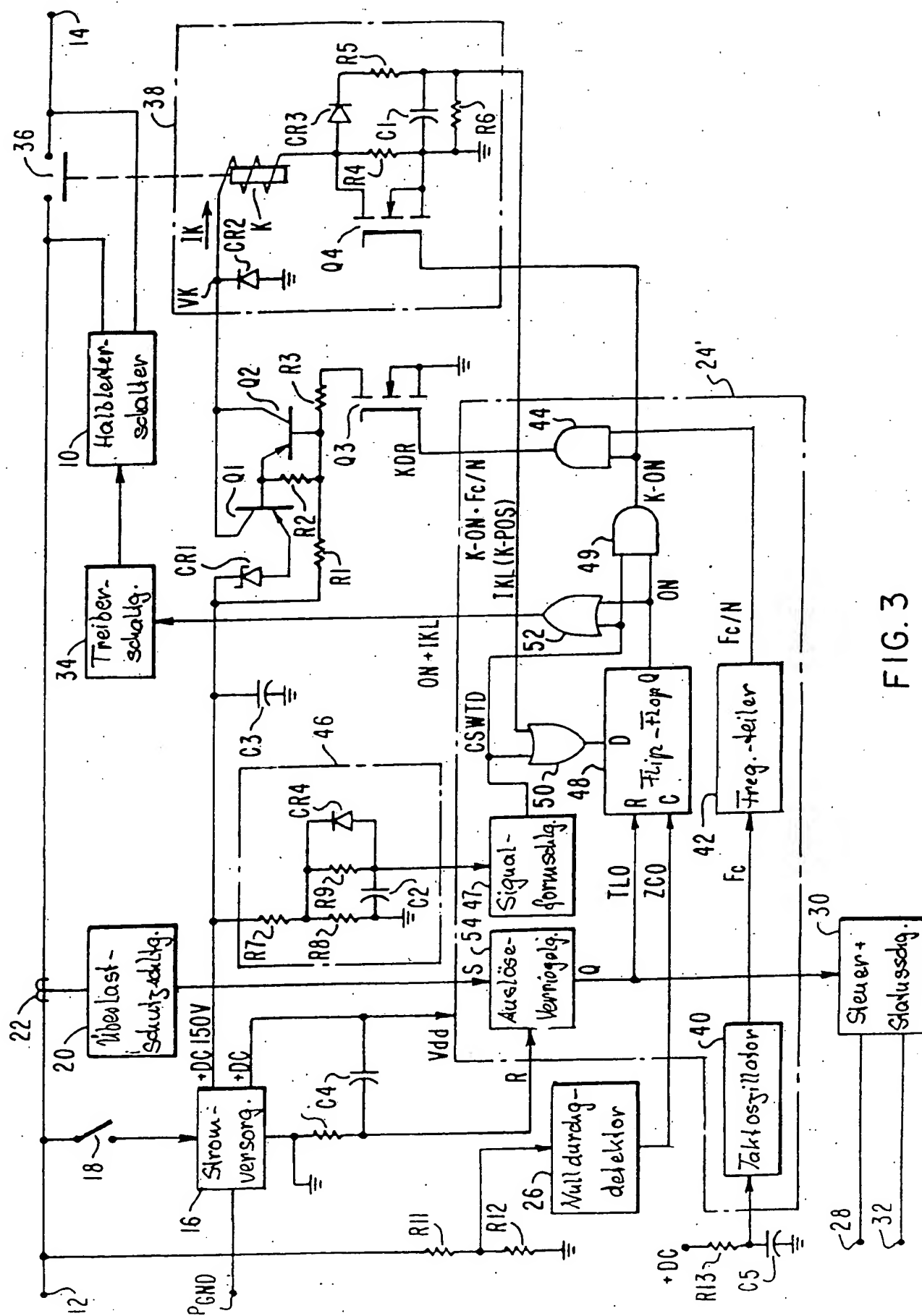
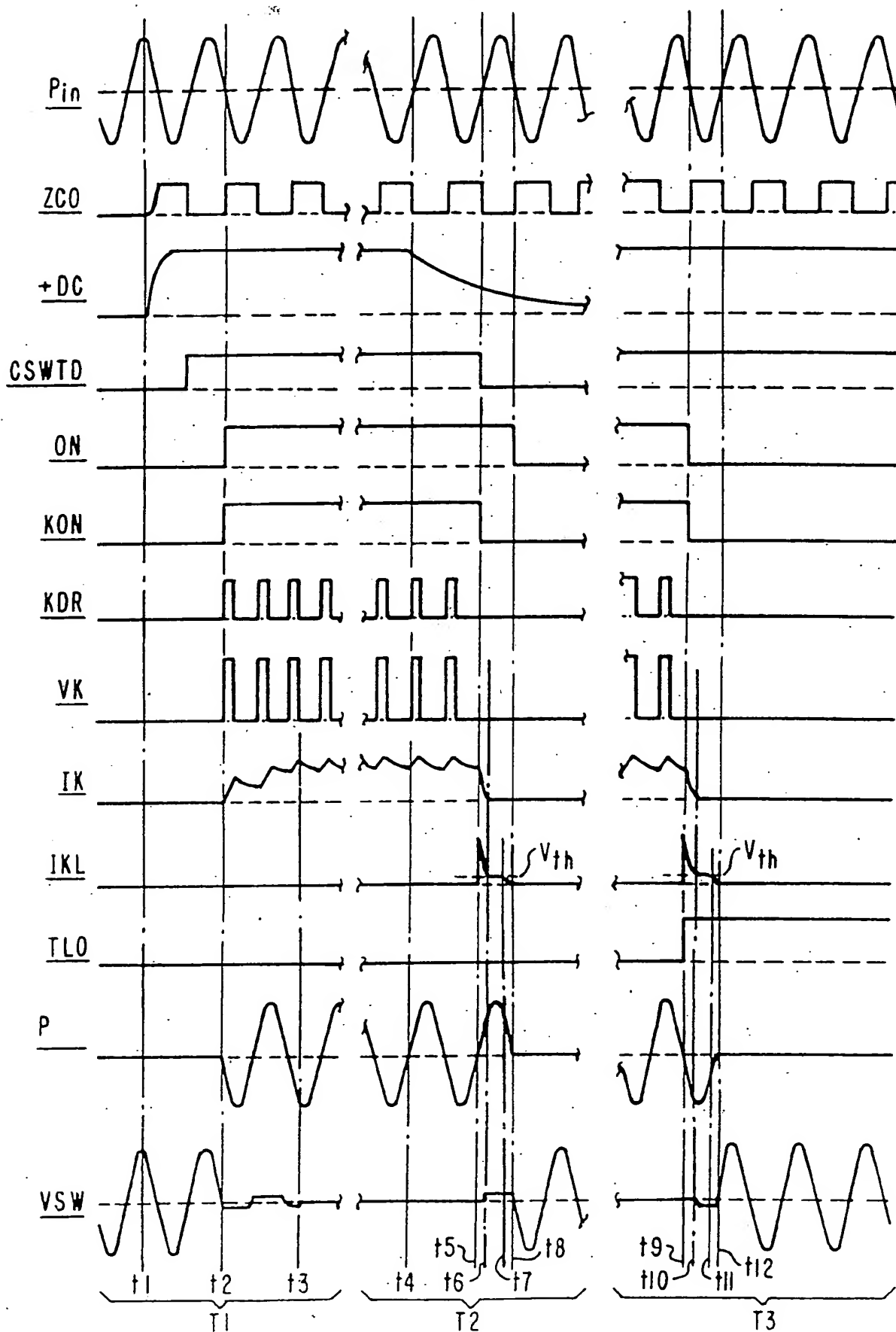


FIG. 3

FIG. 4



Einschalten